

KAJIAN KETELITIAN HASIL PENGUKURAN MENGGUNAKAN *LOW COST* GNSS DAN GPS GEODETIK MENGGUNAKAN METODE PPP *ONLINE*

Ichsan Wibowo Hadi

Jurusan Teknik Geodesi S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang,
Jalan Bendungan Sigura-gura No. 2 Lowokwaru, Kecamatan Sumberasari, Kota Malang - ichsanwibowoh@gmail.com

KATA KUNCI : GNSS, GPS Geodetik, *Low Cost* GNSS .

ABSTRAK :

Dalam bidang survei dan pemetaan, untuk melakukan akuisisi data yang memiliki ketelitian tinggi harus menggunakan GPS dengan menggunakan biaya peralatan yang relatif besar. Permasalahan harga yang terlalu mahal dengan menggunakan GNSS Geodetik, kini telah ada alternatif baru yaitu GNSS dengan biaya rendah yang disebut *Low Cost* GNSS. Untuk menguji ketelitian *receiver Low Cost* GNSS perlu dilakukan pengamatan GPS dengan metode PPP *online* sebagai dasar dalam menentukan kualitas pengukuran dari alat tersebut. Perencanaan waktu pengukuran dengan memperhatikan prakiraan DOP, Elevasi, dan Jumlah satelit. Sedangkan untuk pengkajian data rinex dibagi dengan interval 5 menit selama pengukuran 3 jam. Selanjutnya data hasil pengukuran diproses menggunakan PPP *online*. Hasil koordinat pengamatan di analisis dengan cara di uji statistik dan di lihat tingkat presisi dan akurasinya. Kepresisian hasil pengukuran menggunakan GPS Geodetik di titik orde 0 N0005 mendapatkan rentang kepresisian antara 0,081 m hingga 0,789 m dari titik definitif N0005. Sedangkan untuk *Low Cost* GNSS mendapatkan rentang kepresisian 0,109 m sampai 1,135 m dari titik definitif. Untuk pengamatan di titik orde 1 menggunakan GPS Geodetik mendapatkan rentang kepresisian antara 0,076 m sampai 0,600 m dari titik definitif orde 1 N1.0261, sedangkan pada pengamatan menggunakan *Low Cost* GNSS mendapatkan rentang kepresisian 0,154 m sampai 0,560 m dari titik definitif. Data hasil pengukuran kedua GPS tersebut menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan tingkat ketelitian data GPS Geodetik sama dengan *Low Cost* GNSS apabila diolah menggunakan metode PPP *online*.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam bidang survei dan pemetaan, untuk melakukan akuisisi data agar data bisa mempunyai ketelitian tinggi harus menggunakan GPS dengan ketelitian tinggi pula. Untuk mendapatkan data dengan ketelitian tinggi tentunya menggunakan dana yang relatif besar terutama untuk biaya peralatan.

Peraturan Berbagai lembaga atau perusahaan di Indonesia melakukan akuisisi data dengan ketelitian tinggi menggunakan alat GPS Geodetik. GPS Geodetik dalam penentuan posisi menggunakan satelit dengan prinsip pemotongan ke belakang, dimana posisi diatas permukaan bumi yang belum terdefinisi diamati dari satelit yang telah didefinisikan posisinya terhadap sistem referensi ellipsoid. Alat ini mempunyai kemampuan untuk menangkap signal L1 dan L2 atau bisa disebut GNSS (Global Navigation Satelit System). Namun menurut laman alat survei www.kssinc.biz untuk bisa mendapatkan salah satu alat GPS Geodetik produk dari Javad triumph 1 harus mengeluarkan biaya yang cukup mahal yaitu \$10000 (www.kssinc.biz, 2018).

Permasalahan harga yang terlalu mahal dengan menggunakan GNSS Geodetik, kini telah ada alternatif baru yaitu GNSS dengan biaya rendah yang disebut *Low Cost* GNSS. *Low Cost* GNSS merupakan teknologi penentuan posisi seperti halnya GPS Geodetik yang menghasilkan data posisi diatas permukaan bumi. Menurut laman potretudara.com (2018) salah satu produk *Low Cost* GNSS yang tersedia di pasaran memiliki spesifikasi mampu mengamati satelit GPS dan GLONASS. Untuk melihat performa dari *receiver Low Cost* GNSS perlu dilakukan pengamatan GPS untuk dilihat ketelitiannya dengan metode pengamatan tertentu. Hasil pengukuran dari *Low Cost* GNSS tertentu dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan kualitas pengukuran serta performa dari alat tersebut.

Perlu kajian lebih lanjut untuk melihat kualitas ketelitian data dari hasil pengukuran dengan *Low Cost* GNSS supaya dapat dimanfaatkan lagi secara luas. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan data hasil pengukuran dengan GPS Geodetik dan *Low Cost* GNSS yang diuji dengan metode yang sama.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana tingkat ketelitian hasil pengukuran *Low Cost* GNSS setelah diolah dengan metode PPP dan bagaimana tingkat ketelitian hasil pengukuran GPS Geodetik setelah diolah dengan metode PPP?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1. Tujuan Penelitian: Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat ketelitian hasil pengukuran menggunakan *Low Cost* GNSS dan GPS Geodetik.

1.3.2. Manfaat Penelitian: Dengan diketahui tingkat ketelitian *Low Cost* GNSS dan GPS Geodetik, maka dapat dijadikan sebagai referensi untuk masyarakat umum jika akan menggunakan alat tersebut.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada hipotesa penelitian ini adalah: 1). Pengamatan dilakukan di titik Jaring Kontrol Nasional orde 0 titik N0005 dan Jaring Kontrol Regional orde 1 titik N1.0261, masing-masing menggunakan 2 GPS yang berbeda yaitu *Low Cost* GNSS dan GPS Geodetik Javad Triumph 1. 2). Waktu pengamatan dilakukan pada siang sampai dengan sore hari dengan lama pengamatan 3 jam untuk masing-masing GPS. 3). melakukan pengolahan data menggunakan layanan PPP *on-line*

dari CSRS-PPP (*Canadian Spatial Reference System – Precise point positioning*). 4). Dalam analisis ketelitian menggunakan acuan jaring kontrol Nasional N0005 yang terletak di Boulevard Yogyakarta dan Jaring Kontrol regional N1.0261 yang terletak di Minggir, Sleman. 5). Pengkajian yang diteliti lebih di fokuskan pada ketelitian titik-titik horisontal.

1.5. Sistematika Penulisan

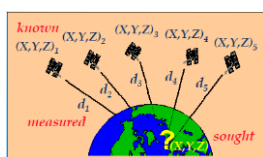
Bab I Pendahuluan yang menjelaskan tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan dan Manfaat Penelitian, dan Sistematika Penulisan. . Bab II Dasar Teori yang menjelaskan tentang teori-teori yang berkaitan dengan judul “Kajian Ketelitian Hasil Pengukuran Menggunakan *Low Cost GNSS* Dan GPS Geodetik Menggunakan Metode PPP *Online*”. Bab III Metodologi Penelitian yang menjelaskan tentang lokasi penelitian, alat dan bahan serta penjelasan langkah kerja melakukan kegiatan penelitian. Bab IV Hasil dan Pembahasan yang menjelaskan mengenai hasil dari pelaksanaan pengukuran, analisis ketelitian data, uji normalitas serta uji hipotesis. Bab V penutup yang menjelaskan tentang kesimpulan dari seluruh kegiatan penelitian serta saran yang sudah diajukan dari proses yang sudah dilaksanakan selama penelitian.

2. DASAR TEORI

2.1. Prinsip Dasar GPS

GPS (Global Positioning System) merupakan sistem satelit untuk melakukan penentuan posisi menggunakan satelit yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat (Abidin, 2007). Sistem yang dapat digunakan oleh banyak orang sekaligus dalam segala cuaca ini, didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti, dan juga informasi mengenai waktu, secara teliti di seluruh dunia. Informasi-informasi tersebut digunakan untuk menentukan jarak satelit ke pengamat. Pada dasarnya, sinyal GPS dibagi menjadi 3 (tiga) komponen, yaitu (Abidin, 2000): 1). Komponen penginformasi jarak (kode), didalamnya terdapat dua kode *Pseudo-Random Noise* (PRN) yang dikirim oleh satelit dan digunakan sebagai penginformasi jarak. 2). Komponen penginformasi posisi satelit (*Navigation message*), memberikan informasi tentang posisi dan kesehatan satelit serta informasi-informasi lainnya seperti koefisien koreksi jam satelit, parameter orbit, almanak satelit, dan parameter koreksi ionosfer. Pesan navigasi tersebut ditentukan oleh segmen sistem kontrol dan dikirimkan ke pengguna menggunakan satelit GPS. 3). Komponen gelombang pembawa (*carrier wave*), terdiri dari dua buah gelombang pembawa yaitu L1 ($\lambda=19.05$ cm) dan L2 ($\lambda=24.25$ cm) yang bertugas membawa kode dan pesan navigasi dari satelit ke pengamat. Gelombang L1 membawa kode-P(Y), kode-C/A, dan pesan navigasi sedangkan gelombang L2 membawa kode-P(Y) dan pesan navigasi.

Pada dasarnya konsep dasar penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi jarak, yaitu pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit yang koordinatnya diketahui (Abidin, 2007). Gambar mengenai prinsip penentuan posisi menggunakan GPS dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Prinsip dasar penentuan posisi dengan GPS (Abidin, 2007)

Ketelitian posisi yang didapat dengan pengamatan GPS secara umum akan tergantung pada empat faktor yaitu: metode penentuan posisi yang digunakan, geometri dan distribusi dari satelit-satelit yang diamati, ketelitian data yang digunakan, dan strategi/ metode pengolahan data yang diterapkan. Masing-masing faktor tersebut mempunyai beberapa parameter yang berpengaruh pada ketelitian posisi yang akan diperoleh dari GPS (Abidin, 2007).

2.2. Metode Penentuan Jarak ke Satelit

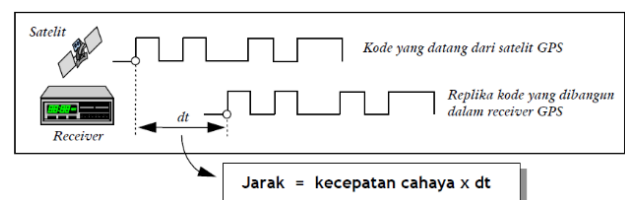
Terdapat 2 (dua) jenis jarak yang didapatkan dari sinyal GPS, yaitu *pseudorange* yang disebut jarak semu, dan *carrier phase* yang disebut jarak *phase* (Abidin, 20007).

Metode *Carrier phase* adalah penentuan jarak dengan prinsip perbedaan fase antara vektor posisi satelit ke titik pengamat yang merupakan fungsi dari fase sinyal sejak dipancarkan satelit hingga diterima oleh *receiver* (Sunantyo, 2000). *Carrier phase* merupakan total jumlah gelombang penuh (yang tidak terukur) dan fraksi gelombang (fase) antara *receiver* -satelit pada suatu waktu (Kleusberg dan Teunissen, 1996).



Gambar 2.2 Penentuan jarak ke satelit dengan data ukuran fase (Abidin, 2007)

Penentuan jarak *pseudorange* adalah penentuan jarak dari *receiver* ke satelit melalui pengukuran selisih waktu (Δt), yaitu waktu yang diperlukan oleh kode untuk menempuh jarak dari satelit ke *receiver* (Abidin, 20007).



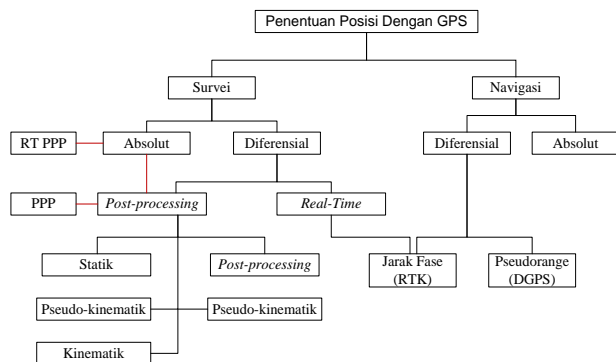
Gambar 2.3 Prinsip penentuan jarak (*pseudorange*) dengan kode (Abidin, 2007)

2.3. Perjalanan Sinyal GPS

Dalam perjalanannya dari satelit ke pengamat di permukaan bumi, sinyal GPS harus melalui medium-medium ionosfer dan troposfer, dimana dalam kedua lapisan tersebut sinyal GPS akan mengalami refraksi dan sintilasi (*scintillation*) didalamnya. Serta pelemahan (*atmospheric attenuation*) dalam lapisan troposfer (Abidin, 2007). Disamping itu sinyal GPS juga dapat dipantulkan oleh benda-benda disekitar pengamat sehingga dapat menyebabkan terjadinya *multipath*, yaitu fenomena dimana sinyal GPS yang diterima oleh antenna adalah resultan dari sinyal langsung dan sinyal pantulan (Abidin, 2006).

2.4. Metode Penentuan Posisi GPS

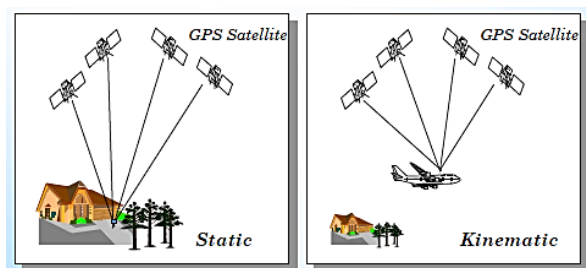
Berdasarkan aplikasinya, metode-metode penentuan posisi dengan GPS juga dibagi atas dua kategori utama, yaitu survei dan navigasi, seperti diilustrasikan pada gambar 2.5 (Abidin, 2007).



Gambar 2.5 Metode penentuan posisi dengan GPS (Abidin, 2000)

2.5. Metode Penentuan Posisi Absolut

Penentuan posisi secara absolut adalah metode penentuan posisi yang paling mendasar dari GPS (Abidin, 2007). Metode penentuan posisi ini, dalam moda statik dan kinematik digambarkan pada ilustrasi berikut :



Gambar 2.6 Metode penentuan posisi moda statik dan kinematik (Abidin, 2006)

2.5.1. Metode Penentuan Posisi Absolut Teliti (*Precise point positioning*) : Metode *Precise point positioning* pada dasarnya adalah metode penentuan posisi absolut yang menggunakan data *one-way* fase dan pseudorange dalam bentuk bebas ionosfer (Abidin, 2007). Metode penentuan posisi PPP memberikan akurasi titik level cm atau dm dalam mode statis atau kinematik tergantung pada durasi pengamatan dengan penerima frekuensi ganda (Ocalan et al., 2013).

Dalam penentuan posisi absolut suatu stasiun pengamat, persamaan pengamatan dari *one-way* fase dan pseudorange bebas ionosfer yang umumnya digunakan pada metode PPP dapat diformulasikan sebagai berikut (Kouba and Heroux, 2001):

$$P_{if} = k_1.P_1 - k_2.P_2$$

$$= \rho + dtrop + dt + MP_{if} + 9P_{if} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$L_{if} = k_1.L_1 - k_2.L_2$$

$$= \rho + dtrop + dt + MC_{if} - (k_1 \cdot \lambda_1.N_1 - k_2 \cdot \lambda_2.N_2) + 9C_{if}$$

$$\dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

- P_{if} = Pseudorange bebas ionosfer
- L_{if} = Fase bebas ionosfer
- P = Pseudorange pada frekuensi f_i (m)
- L = Jarak fase pada frekuensi f_i (m)
- P = Jarak geometris antara pengamat (x,y,z) dengan satelit (m)
- λ = panjang gelombang dari sinyal (m)

- $dtrop$ = Bias yang disebabkan oleh refraksi troposfer(m)
- dt = Kesalahan dan *offset* dari jam *receiver* dan jam satelit(m)
- MP, MC = Efek multipath pada hasil pengamatan (m)
- $9P, 9C$ = Gangguan (noise) pada hasil pengamatan (m)
- N_1, N_2 = Ambiguitas fase dari fase sinyal L_1 dan L_2 (dalam jumlah gelombang)

Dimana faktor k_1 dan k_2 adalah fungsi dari frekuensi sinyal-sinyal GPS f_1 dan f_2 sebagai berikut:

$$k_1 = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} = 2.54572778 \dots \dots \dots (2.3)$$

dan

$$k_2 = \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} = 1.54572778 \dots \dots \dots (2.4)$$

Pada persamaan (2.1) dan (2.2) di atas, parameter kesalahan orbit serta kesalahan dan *offset* jam satelit tidak muncul dalam persamaan, dengan asumsi bahwa orbit teliti (*precise orbit*) serta informasi jam satelit dari IGS akan digunakan (IGS, 2005). Oleh sebab itu parameter yang ditentukan dalam pengolahan data metode PPP adalah: tiga komponen koordinat, *offset* jam *receiver*, bias troposfer basah di arah zenith, dua parameter gradien troposfer serta nilai real sejumlah ambiguitas fase dari data fase bebas ionosfer yang terlibat (Gao and Shen, 2004).

Disamping itu menurut Kouba and Heroux (2001) untuk penentuan posisi absolut menggunakan data fase, beberapa parameter koreksi tambahan harus diperhitungkan dalam pengolahan data, yaitu antara lain: efek pergerakan satelit (*satellite attitude effects*), efek pergerakan lokasi pengamatan (*site displacement effects*), serta pertimbangan kompatibilitas (*compatibility considerations*). Efek pergerakan satelit mencakup *offset* antena satelit dan koreksi *phase wind-up*. Sedangkan efek pergeseran lokasi pengamat mencakup pasang surut Bumi (*solid earth tides*), pasang surut laut serta *Earth Rotation Parameters* (ERP) yang terdiri dari presisi, nutasi, pergerakan kutub dan perubahan panjang hari. Sedangkan pertimbangan kompatibilitas mencakup pembobotan yang konsisten dari kesalahan orbit dan jam satelit serta model dan konvensi yang diimplementasikan dalam pengolahan data.

2.5.2. Komponen *Precise point positioning* : Tidak seperti pada penentuan posisi secara relatif, beberapa bentuk kesalahan atau bias tidak dapat dihilangkan pada penentuan posisi absolut teliti atau *Precise point positioning* (PPP). Pergerakan stasiun atau *receiver* berasal dari hasil fenomena geofisik seperti pergerakan lempeng tektonik, pasang surut bumi dan pembebanan samudera juga diperhatikan dalam solusi PPP, seperti halnya kesalahan dari troposfer dan ionosfer. Kesalahan dari satelit yang di modelkan antara lain jam satelit, fase pusat *offset* antena satelit, *group delay differential*, relativitas, dan fase *wind-up error* antena satelit. Kesalahan spesifik dari *receiver* antara lain fase pusat *offset* antena *receiver* dan fase *wind-up* antena *receiver* (Witchayangkoon, 2000).

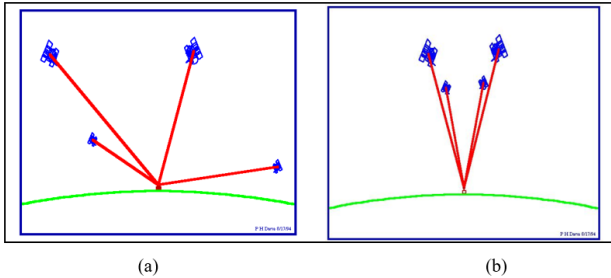
2.6. *Precise Ephemeris*

Dalam pesan navigasi yang dibawa sinyal GPS terdapat pesan yang menginformasikan orbit-orbit satelit dalam bentuk elemen kepler yang disebut *broadcast ephemeris*. Untuk mendapatkan *ephemeris* yang lebih teliti, digunakan perhitungan yang melibatkan stasiun-stasiun pengamatan GPS di bumi sehingga didapatkan *precise ephemeris*. *Precise ephemeris* merupakan data *ephemeris* satelit teliti hasil pemrosesan pseudorange dan

fase pembawa (*carrier beat phase*) *frequency* ganda kode P yang sangat teliti. PE dihitung oleh berbagai institusi berdasarkan data pengamatan dari berbagai jaringan penjejak satelit (Djawahir, 1992). *Precise ephemeris* inilah yang digunakan dalam metode *precise point positioning*.

2.7. DOP (Dillution of Precision)

DOP (*Dillution of Precission*) adalah istilah yang menggambarkan kekuatan akurasi dari konfigurasi geometri satelit (Abidin, 2006). Semakin kecil nilai DOP maka semakin baik geometri satelit untuk melakukan perhitungan posisi. Dalam selecting *satellites* untuk memperoleh akurasi posisi yang paling akurat, maka nilai DOP harus sekecil mungkin. Nilai DOP tidak memiliki satuan (Abidin, 2001).



Gambar 2.12 Gambaran umum DOP (a) DOP yang baik (b) DOP yang kurang baik (Ekawati, 2010)

Menurut Ekawati (2010) ada beberapa macam DOP yang merupakan fungsi dari geometri satelit antara lain GDOP (Geometric DOP), PDOP (Position DOP), HDOP (Horisontal DOP), VDOP (Vertical DOP), dan TDOP (Time DOP).

2.8. Kepresisian dan Keakurasian

Terdapat beberapa istilah yang digunakan untuk menggambarkan keandalan pengukuran, yaitu kepresisian (*precision*), keakurasian (*accuracy*) dan ketidakpastian (*uncertainty*) (Mikhail and Gracie, 1981).1). Kepresisian didefinisikan sebagai tingkat kedekatan hasil pengukuran yang berulang terhadap obyek yang sama. Jika hasil pengukuran yang berulang itu berdekatan maka disebut memiliki ketelitian yang tinggi, jika hasil itu terpaut jauh, maka disebut memiliki ketelitian yang rendah. Tingkat ketelitian yang tinggi umumnya mencerminkan tingkat kehati-hatian dan penanganan yang tinggi dalam penggunaan alat dan prosedur yang digunakan dalam pengukuran. Ketelitian diindikasikan dengan penyebaran dari distribusi kemungkinan. Semakin kecil distribusinya maka ketelitiannya juga semakin tinggi, demikian juga sebaliknya. Ukuran yang biasanya adalah standar deviasi. Semakin tinggi ketelitian maka semakin kecil nilai standar deviasinya, demikian juga sebaliknya. 2). Keakurasian adalah tingkat kedekatan dari suatu hasil pengukuran terhadap nilai yang benar. Ketepatan tidak hanya merupakan akibat dari kesalahan acak, tetapi juga bias yang ada karena kesalahan sistematis yang tidak terkoreksi. Jika yang terjadi bias, maka standar deviasi juga dapat digunakan sebagai ukuran ketepatan. 3). adalah suatu jangkauan yang berisi kesalahan pengukuran. Satu tingkat dari kemungkinan umumnya dikaitkan dengan ketidakpastian. Secara umum, jika ketidakpastian dari suatu pengukuran diketahui, maka ketidakpastian itu akan menyertai nilai pengukuran.

Nilai presisi dapat ditunjukkan dengan nilai standar deviasi pengukuran. Cara menghitung simpangan baku adalah :

$$\sigma = \sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2 / n)} \dots \dots \dots (2.7)$$

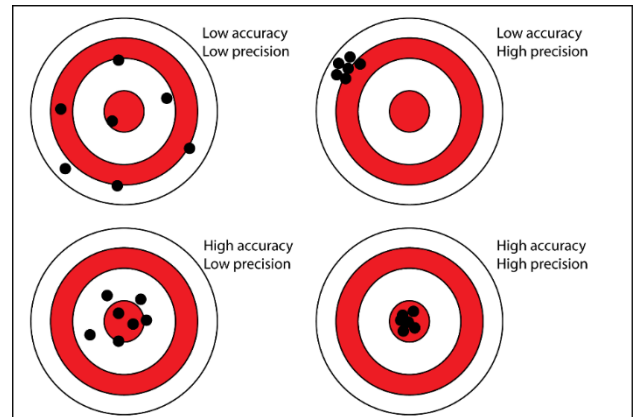
Keterangan :

σ = simpangan baku

x_i = nilai ukuran ke-i

\bar{x} = nilai rerata hasil ukuran

n = jumlah ukuran



Gambar 2.13 Presisi dan akurasi (sumber : <http://www.eratika.com>, 2018)

2.9. NRCAN (Nature Resource Canada)

NRCAN (Nature Resource Canada) adalah kementerian pemerintah kanada yang bertanggung jawab terhadap sumber daya alam, energi, mineral dan logam, hutan, ilmu bumi, pemetaan dan penginderaan jauh. Situs NRCAN dapat di kunjungi di <https://www.nrcan.gc.ca>, situs ini berisi berbagai macam informasi dan layanan salah satunya adalah berhubungan dengan pemetaan. Salah satu menu yang terdapat pada situs NRCAN adalah CSRS-PPP.

CSRS-PPP adalah layanan pemrosesan data pengamatan frekuensi tunggal dan ganda dari GPS dan Glonass (Farah, 2016). Untuk melakukan pengolahan menggunakan CSRS-PPP, pengguna mengirimkan data observasi RINEX ke layanan CSRS-PPP selanjutnya hasil olahan akan di kirim melalui email. Data hasil pengukuran yang dikirim bisa data *single frequency* maupun *double frequency* yang beroperasi dalam mode statis atau kinematis. Maka hasil pengolahan CSRS-PPP akan dikirimkan melalui email dalam sistem referensi kanada atau Canadian Spatial Reference System (CSRS) dan International Terrestrial Reference Frame (ITRF).

2.10. RINEX

Rinex (*Receiver Independent Exchange*) adalah format pertukaran data untuk raw data satelit (Kasfari dkk, 2017). Beberapa karakteristik dari format Rinex adalah (Abidin, 2000) : 1). Format ASCII dengan panjang maksimum setiap record 80 karakter. 2). Data fase diberikan dalam unit panjang gelombang dan data pseudorange dalam unit meter. 3). Nilai kalibrasi seperti jenis antena dan sensor sudah terlingkup dalam format ini. 4). Waktu pengamatan yang tercatat dalam rinex merupakan jam *receiver*. 5). Data pengamatan dan data pesan navigasi disimpan dalam dua berkas yang berbeda

2.11.Low Cost GNSS

Alat ini juga sering digunakan untuk melakukan survei pemetaan dengan ketelitian sentimeter hingga desimeter (Atunggal et al, 2015). *Low Cost GNSS* ini dilengkapi port kabel *coaxial* untuk dihubungkan ke antena dan port USB untuk dihubungkan ke perangkat *controller*. *Low Cost GNSS* yang

digunakan adalah *Low Cost GNSS* dengan seri e-GNSS. Produk e-GNSS merupakan salah satu produk rakitan Indonesia dengan menggunakan chip GPS dari produk Tersus. Jika untuk menentukan posisi absolut memiliki akurasi RMS horizontal hingga 1,5 meter sedangkan untuk akurasi RMS vertikal hingga 3 meter.



Gambar 2.14 *Low Cost GNSS* dengan Seri e-GNSS Multi (Sumber: www.potretudara.com, 2018)

2.12. GPS Geodetik

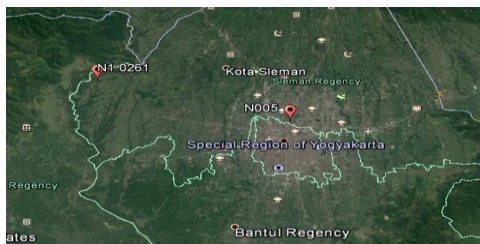
GPS tipe geodetik adalah *receiver* penentuan posisi yang relatif paling canggih, paling mahal juga memberikan data yang paling presisi (Abidin, 2007). GPS geodetik sering digunakan untuk aktivitas pengukuran yang membutuhkan ketelitian tinggi, antara lain pengukuran deformasi, pengadaan jaring kontrol horizontal dan aktivitas lainnya yang berhubungan dengan geodesi.

GPS Geodetik umumnya GPS yang sudah mempunyai internal GNSS antenna sehingga bisa menangkap sinyal dari satelit lain selain GPS seperti GLONASS maupun SBAS. GPS Geodetik juga bisa untuk menangkap gelombang single frekuensi maupun double frekuensi.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di titik jaring kontrol horizontal orde 0 dan orde 1. Jaring kontrol orde 0 terletak di Boulevard, Yogyakarta sedangkan jaring kontrol orde 1 terletak di jalan Balangan-Minggir km.23 Yogyakarta. Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi titik pengamatan (sumber : google earth, 2018)

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Perangkat lunak yang digunakan antara lain *Mozilla firefox*, *Geocalc*, Aplikasi *Geotagging*, Aplikasi *Javad*, *jps2rin*, *RTKlib*, *Autocad Land Dekstop 2009*, *Microsoft Excel*, dan *Microsoft Word*. Untuk perangkat keras yang digunakan antara lain GPS Geodetik *dual frekuensi*, *Low Cost GNSS dual frekuensi*, *smartphone*, dan *flasdisk 16 GB*

Sedangkan bahan yang digunakan terdapat pada tabel 3.1.

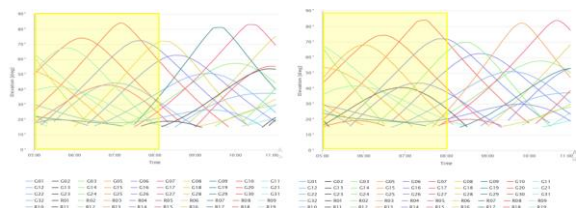
Tabel 3.1 Bahan Penelitian

No	Jenis Data	Keterangan
1.	Data Pengukuran absolut menggunakan GPS. (Pengukuran dilakukan di titik orde 0 N0005 dan orde 1 N1.0261)	Pengukuran menggunakan <i>receiver</i> GPS dual frekuensi dan <i>Low Cost GNSS</i> dual frekuensi.
2.	Data koordinat definitif titik pengamatan GPS (koordinat titik kontrol orde 0 N0005 orde 1 N1.0261)	Data koordinat di peroleh dari <i>web</i> http://srgi.big.go.id/peta/jkg.jsp
3.	Data informasi prakiraan Elevasi, DOP, dan Jumlah satelit saat hari pengukuran	Data informasi Elevasi, DOP, dan Jumlah satelit dari https://www.gnssplanning.com

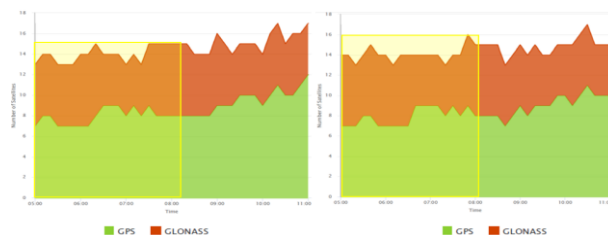
Tabel 3.2 Koordinat titik kontrol

Titik	Koordinat Geodetik	Koordinat UTM
N0005	L = 7° 46' 25,69080" LS B = 110° 22' 36,45840" BT H = 157,763 m	T = 431284,545 m U = 9140657,868m H = 157,763m
N1.0261	L = 7° 43' 22,74960" LS B = 110° 14' 14,25840"BT H = 142,677 m	T = 415892,273m U = 9146251,033m H = 157,763m

Sedangkan data informasi prakiraan Elevasi, jumlah satelit dan DOP digunakan untuk melakukan perencanaan waktu pengukuran yang tepat (www.gnssplanning.com, 2018)

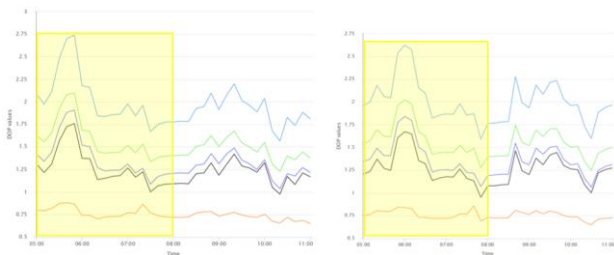


Gambar 3.2 Data prakiraan elevasi pengukuran pada tanggal 28 Desember 2018 (kiri) dan 30 Desember 2018 (kanan) untuk pengukuran titik Orde 0 (sumber: www.gnssplanning.com, 2018)

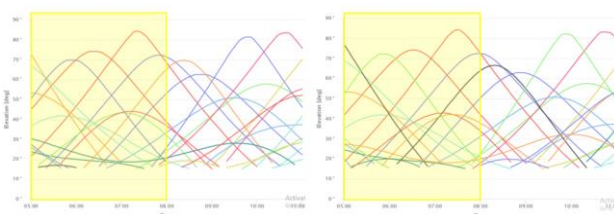


Gambar 3.3 Data prakiraan jumlah satelit pengukuran pada tanggal 28 Desember 2018 (kiri) dan 30 Desember 2018 (kanan)

untuk pengukuran titik Orde 0 (sumber:www.gnssplanning.com, 2018).



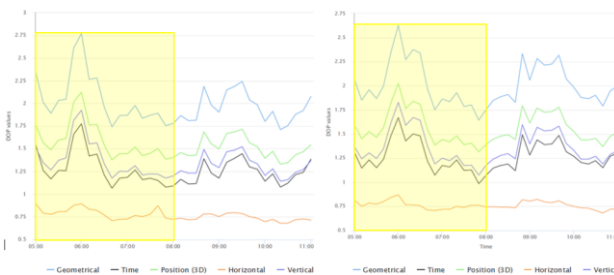
Gambar 3.4 Data prakiraan Dillution of position (DOP) pengukurann pada tanggal 28 Desember 2018 (kiri) dan 30 Desember 2018 (kanan) untuk pengukuran titik Orde 0 (sumber:www.gnssplanning.com, 2018)



Gambar 3.5 Data prakiraan elevasi pengukurann pada tanggal 27 Desember 2018 (kiri) dan 29 Desember 2018 (kanan) untuk pengukuran titik Orde 1 (sumber:www.gnssplanning.com, 2018)



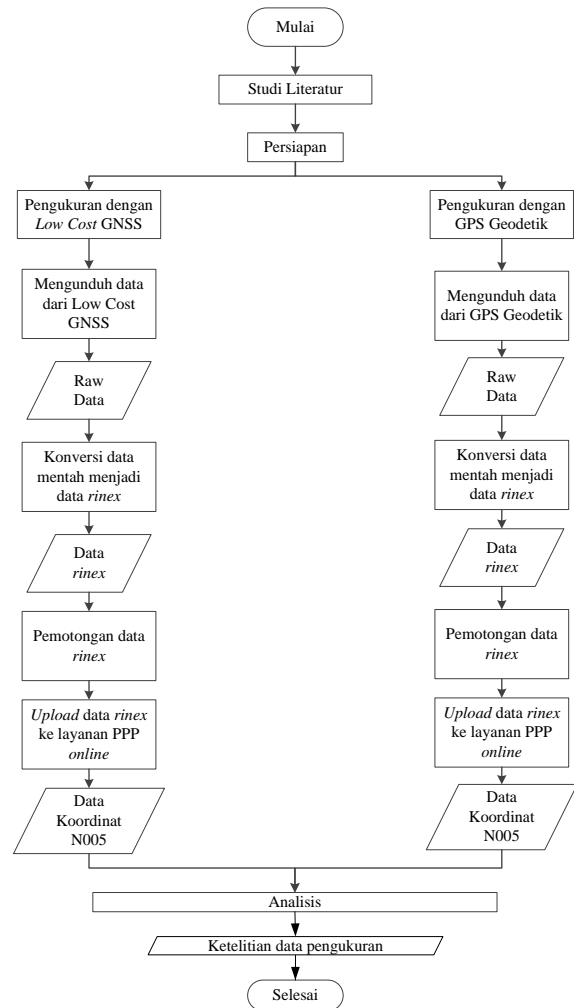
Gambar 3.6 Data prakiraan jumlah satelit pengukurann pada tanggal 27 Desember 2018 (kiri) dan 29 Desember 2018 (kanan) untuk pengukuran titik Orde 1 (sumber:www.gnssplanning.com, 2018)



Gambar 3.7 Data prakiraan Dillution of position (DOP) pengukurann pada tanggal 27 Desember 2018 (kiri) dan 29 Desember 2018 (kanan) untuk pengukuran titik Orde 1 (sumber:www.gnssplanning.com, 2018)

3.3. Diagram Alir

Diagram alir yang digunakan untuk melakukan pengukuran adalah sebagai berikut.

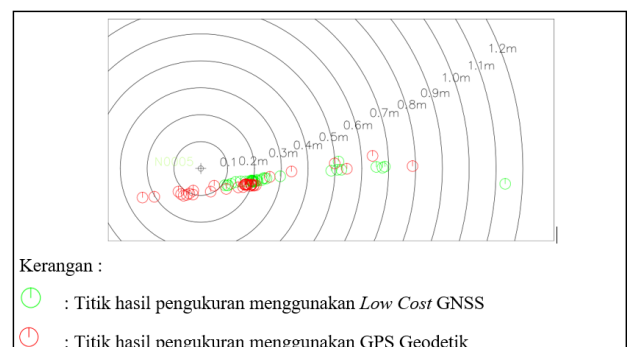


Gambar 3.8 Diagram Alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

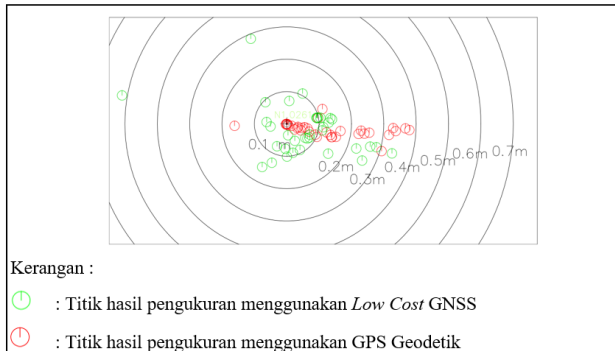
4.1. Analisis Presisi Horisontal

Presisi pengukuran dinyatakan dalam seberapa dekat hasil pengukuran dengan nilai rata-ratanya. Untuk mengetahui nilai presisi antara GPS Geodetik dan *Low Cost GNSS* yang telah diolah dengan *PPP online*, hasil *PPP online* diplot menggunakan Autocad. Hasil plot ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.2 Plotting kepresisian horisontal hasil pengukuran menggunakan GPS Geodetik dan *Low Cost GNSS* pada titik orde 0

Gambar 4.2 menunjukkan persebaran titik-titik hasil pengukuran menggunakan GPS Geodetik dan *Low Cost GNSS* pada titik orde 0 yang diolah menggunakan PPP *online*. Terlihat untuk GPS Geodetik persebaran titiknya mendekati koordinat definitif N0005 dengan range radius antara 0,081 m sampai 0,789 m dan hasil persebarannya cenderung kearah timur. Sedangkan untuk *Low Cost GNSS* persebaran titiknya menunjukkan kearah barat daya hingga timur dengan dari titik definitif N0005. Untuk persebaran titik mendekati titik definitif tersebut dengan range antara 0,109 m sampai 1,135 m.

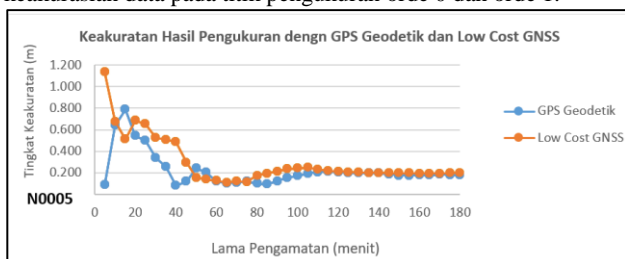


Gambar 4.3 Plotting kepresisian horisontal hasil pengukuran menggunakan GPS Geodetik dan *Low Cost GNSS* pada titik orde 1

Gambar 4.3 menunjukkan persebaran titik-titik hasil pengukuran menggunakan GPS Geodetik dan *Low Cost GNSS* pada titik orde 1 yang diolah menggunakan PPP *online*. Terlihat untuk GPS Geodetik persebaran titiknya mendekati koordinat definitif N1.0261 dengan range radius antara 0,076 m sampai 0,600 m dan hasil persebarannya cenderung kearah timur. Sedangkan untuk *Low Cost GNSS* persebaran titiknya hampir merata dengan dari titik definitif N1.0261. Untuk persebaran titik mendekati titik definitif N1.0261 dengan range antara 0,154 m sampai 0,560 m.

4.2. Analisis Keakurasian Horisontal

Tingkat keakurasian horisontal dinilai dengan keterdekatan hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya. Berikut hasil plotting keakurasian data pada titik pengukuran orde 0 dan orde 1.

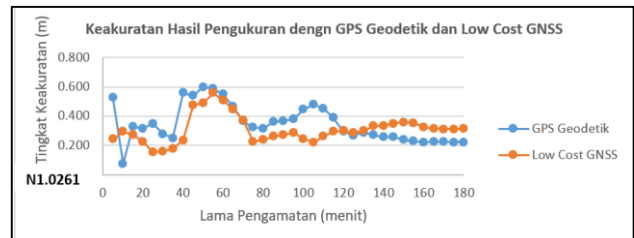


Gambar 4.4 Grafik tingkat keakurasian posisi horisontal hasil pengukuran dengan GPS Geodetik dan *Low Cost GNSS* yang telah di proses dengan PPP *online* pada titik orde 0

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa hasil pengukuran dengan GPS Geodetik dan *Low Cost GNSS* pada titik orde 0 yang telah diproses dengan PPP *online* keduanya menunjukkan keakuratan yang hampir sama, namun cenderung lebih akurat yang GPS Geodetik dibandingkan dengan *Low Cost GNSS*. Hal ini ditunjukkan dengan keterdekatan hasil proses PPP *online* untuk GPS Geodetik dengan nilai sebenarnya dari titik orde 0 N0005, selain itu radius pada GPS Geodetik berkisar antara range 0,081 meter hingga 0,789 meter dari titik N0005. Tingkat keakuratan dari GPS Geodetik paling akurat didapat pada pen gukuran

selama 40 menit pertama, setelah itu cenderung fluktuatif dan mulai konsisten pada menit 105 yang berjarak 0,194 dari titik N0005.

Untuk pengukuran selama 50 menit pertama pada *Low Cost GNSS*, menunjukkan hasil yang fluktuatif. Namun mulai konsisten adalah mulai menit 115 dengan akurasi adalah 0,217 meter. Tingkat keakuratan pada hasil pengukuran *Low Cost GNSS*, yang paling akurat adalah pada pengukuran selama 65 menit pertama dengan jarak 0,109 meter dari titik definitif.

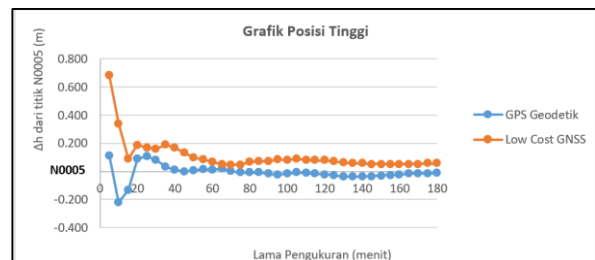


Gambar 4.5 Grafik tingkat keakurasian posisi horisontal hasil pengukuran dengan GPS Geodetik dan *Low Cost GNSS* yang telah di proses dengan PPP *online* pada titik orde 1

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa hasil pengukuran dengan GPS Geodetik dan *Low Cost GNSS* pada titik orde 1 yang telah diproses dengan PPP *online* keduanya menunjukkan grafik yang fluktuatif. Nilai keterdekatan hasil proses PPP *online* untuk GPS Geodetik dengan nilai sebenarnya dari titik orde 1 N1.0261 antara range 0,076 meter hingga 0,600 meter. Tingkat keakuratan dari GPS Geodetik paling akurat didapat pada pengukuran selama 10 menit pertama.

Untuk pengukuran pada *Low Cost GNSS* data pengukuran menunjukkan keakuratan yang paling akurat adalah pada pengamatan 25 menit pertama dengan akurasi 0,154.

4.3. Analisis Keakurasian Horisontal

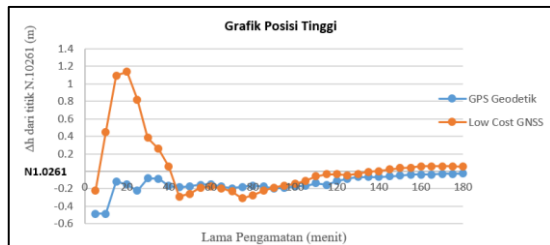


Gambar 4.6 Grafik posisi tinggi hasil pengukuran dengan dengan GPS Geodetik dan *Low Cost GNSS* yang telah di proses dengan PPP *online* pada titik orde 0

Dari gambar 4.6, koordinat h data GPS Geodetik untuk pengukuran 40 menit pertama terlihat grafik yang fluktuatif, setelah menit ke-40 data pengukuran menunjukkan konsisten dengan akurasi terdekat didapat pada penukuran dimenit ke-45 dengan selisih 0,003 meter dari kordinat definitif N0005. Untuk data pengukuran *Low Cost GNSS* pada pengukuran 55 menit pertama data menunjukkan fluktuatif, untuk menit setelahnya cenderung terlihat konsisten dengan akurasi terdekat dengan titik definitif N0005 terdapat pada menit 75 dengan selisih 0,046 dari titik definitif.

Dari gambar 4.7, koordinat h data GPS Geodetik untuk pengukuran 40 menit pertama terlihat grafik yang cenderung fluktuatif, pada menit ke-175 data pengukuran menunjukkan

akurasi terdekat dengan titik definitif N0005 dengan selisih 0,026 meter dari kordinat definitif N1.0261. Untuk data pengukuran *Low Cost GNSS* juga menunjukkan data yang cenderung fluktuatif. Pada pengukuran menit ke-140 menunjukkan akurasi terdekat dengan titik definitif N1.0261 yaitu dengan selisih 0,001 meter dari titik definitif.



Gambar 4.7 Grafik posisi tinggi hasil pengukuran dengan GPS Geodetik dan *Low Cost GNSS* yang telah di proses dengan PPP *online* pada titik orde 1

4.4. Uji Hipotesis

4.4.1. Uji *Chi Square* : Uji tersebut dilakukan untuk mengetahui kualitas data yang dihasilkan.

1. Uji hipotesis untuk data pengukuran di titik orde 0

$S_{GPS\ Geodetik}$: 0,156 m
 $S_{LowCostGNSS}$: 0,217 m
 σ : 0,075 m
 v : 35
 Tingkat kepercayaan 95%

- a. Uji χ^2 GPS Geodetik

$$\chi^2_{hitung} = 152,259$$

$$\chi^2_{0.05,35} = 49,8$$

$$\chi^2_{hitung} > \chi^2_{Tabel}$$

$$152,259 > 49,8$$

Maka Hipotesis 0 ditolak, Data hasil pengukuran menggunakan alat tidak bisa digunakan untuk pengukuran titik setara orde 0 atau orde 1 pengamatan dengan jika pengolahannya menggunakan metode PPP *online*

- b. Uji χ^2 *Low Cost GNSS*

$$\chi^2_{hitung} = 294,191$$

$$\chi^2_{0.05,35} = 49,8$$

$$\chi^2_{hitung} > \chi^2_{Tabel}$$

$$294,19 > 49,8$$

Maka Hipotesis 0 ditolak, Data hasil pengukuran menggunakan alat tidak bisa digunakan untuk pengukuran titik setara orde 0 atau orde 1 pengamatan dengan jika pengolahannya menggunakan metode PPP *online*

2. Uji hipotesis untuk data pengukuran di titik orde 1

- a. Uji χ^2 GPS Geodetik

$S_{GPS\ Geodetik}$: 0,127 m
 $S_{LowCostGNSS}$: 0,093 m
 σ : 0,075 m
 v : 35
 Tingkat kepercayaan 95%

$$\chi^2_{hitung} = 99,840$$

$$\chi^2_{0.05,35} = 49,8$$

$$\chi^2_{hitung} > \chi^2_{Tabel}$$

$$99,840 > 49,8$$

Maka Hipotesis 0 ditolak, Data hasil pengukuran menggunakan alat tidak bisa digunakan untuk pengukuran

titik setara orde 0 atau orde 1 pengamatan dengan jika pengolahannya menggunakan metode PPP *online*.

- b. Uji χ^2 *Low Cost GNSS*

$$\chi^2_{hitung} = 54,684$$

$$\chi^2_{0.05,35} = 49,8$$

$$\chi^2_{hitung} > \chi^2_{Tabel}$$

$$54,684 > 49,8$$

Maka Hipotesis 0 ditolak, Data hasil pengukuran menggunakan alat tidak bisa digunakan untuk pengukuran titik setara orde 0 atau orde 1 pengamatan dengan jika pengolahannya menggunakan metode PPP *online*.

4.4.2. Uji F (Distribusi Fisher) : Uji F dilakukan untuk menguji hasil pengukuran menggunakan alat GPS Geodetik dan *Lowcost GNSS* yang dilakukan di titik orde 0 dan orde 1.

1. Uji hipotesis untuk data pengukuran di titik orde 0 dengan menggunakan uji F tabel.

$S_{GPS\ Geodetik}$: 0,156 m
 $S_{LowCostGNSS}$: 0,217 m
 $V_2\ GPS\ Geodetik$: 35
 $V_1\ LowCostGNSS$: 35

Tingkat kepercayaan 95%

$$F_{hitung} = 1,93$$

$$F_{0.025,35,35} = 1,96$$

$$F_{hitung} < F_{tabel}$$

$$1,93 < 1,96$$

Maka Hipotesis 0 diterima, tidak ada perbedaan yang signifikan tingkat ketelitian data GPS Geodetik sama dengan *Low Cost GNSS* apabila diolah menggunakan metode PPP *online*.

2. Uji hipotesis untuk data pengukuran di titik orde 0 dengan menggunakan uji F tabel.

$S_{GPS\ Geodetik}$: 0,126 m
 $S_{LowCostGNSS}$: 0,093 m
 $V_2\ GPS\ Geodetik$: 35
 $V_1\ LowCostGNSS$: 35

Tingkat kepercayaan 95%

$$F_{hitung} = 1,82$$

$$F_{0.025,35,35} = 1,96$$

$$F_{hitung} < F_{tabel}$$

$$1,82 < 1,96$$

Maka Hipotesis 0 diterima, tidak ada perbedaan yang signifikan tingkat ketelitian data GPS Geodetik sama dengan *Low Cost GNSS* apabila diolah menggunakan metode PPP *online*.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang sudah dilaksanakan penulis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengamatan dengan menggunakan GPS Geodetik pada titik orde 0 N0005 yang sudah diolah menggunakan software PPP *online* mempunyai range kepresisian antara 0,081 m sampai 0,789 m dari titik definitif N0005 dengan titik paling akurat adalah pengamatan pada menit ke-40.
2. pengamatan dengan menggunakan Low Cost GNSS pada titik orde 0 N0005 yang sudah diolah menggunakan

- software PPP online mempunyai range kepresisian antara 0,109 m sampai 1,135 m dari titik definitif N0005 dengan titik paling akurat adalah pengamatan pada menit ke-65.
- Hasil pengamatan dengan menggunakan GPS Geodetik pada titik orde 1 N1.0261 yang sudah diolah menggunakan software PPP *online* mempunyai range kepresisian antara 0,076 m sampai 0,600 m dari titik definitif N1.0261 dengan titik paling akurat adalah pengamatan pada menit ke-10.
 - Hasil pengamatan dengan menggunakan *Low Cost* GNSS pada titik orde 1 N0005 yang sudah diolah menggunakan software PPP *online* mempunyai range kepresisian antara 0,154 m sampai 0,560 m dari titik definitif N1.0261 dengan titik paling akurat adalah pengamatan pada menit ke-25.
 - Data hasil pengukuran menggunakan alat tidak bisa digunakan untuk pengukuran titik setara orde 0 atau orde 1 pengamatan dengan jika pengolahannya menggunakan metode PPP *online*. Sedangkan untuk data hasil ukuran tidak ada perbedaan yang signifikan tingkat ketelitian data antara GPS Geodetik sama dengan *Low Cost* GNSS apabila diolah menggunakan metode PPP *online* yang diuji dengan uji F (Fisher). Untuk uji F hasil pengukuran titik orde 0 didapatkan nilai $F_{hitung}=1,93$ dan $F_{(tabel)} = 1,96$. Sedangkan untuk uji F pada hasil pengukuran titik orde 1 mendapatkan nilai $F_{hitung}=1,82$ dan $F_{(tabel)} = 1,96$. Hasilnya $F_{hitung} < F_{tabel}$.

5.2. Saran

- Perlu ada kajian lebih lanjut lagi mengenai alat tersebut dengan kondisi yang berbeda
- Data *Low Cost* GNSS dan GPS Geodetik Javad Triumph 1 yang diolah menggunakan software PPP *online* tidak disarankan jika untuk pengukuran dengan ketelitian tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. 2000. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z. 2001. *Geodesi Satelit*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z. 2006. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z. 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya Cetakan ke-3*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Akbar, Husaini Usman Dan Purnomo Setiady. 2000. *Metodologi Penelitian Sosial*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Anggara, Andri. 2016. *Kajian Ketelitian Metode Real Time Precise point positioning*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi dan Geoinformatika Institut Teknologi Nasional Malang.
- Atunggal, D, dkk. 2015. *Studi Awal Penggunaan Modul GPS Murah untuk Pengukuran RTK NTRIP*. FIT ISI 2015, 36.
- Bisnath, S. and R. B. Langley. 2002. *High-precision platform-independent Positioning with A Single GPS receiver*. **Journal of the Institute of Navigation**, Vol. 29, 3 : 161-169.
- Davis, K. 1990. *Ionospheric Radio*. London : Peter Peregrinus.
- Djawahir. 1992. *Penentuan Posisi dengan GPS*. Yogyakarta : PT Petrakonsultindo.
- Ekawati, Sri. 2010. *Pengaruh Geometri Satelit dan Ionosfer dalam Kesalahan Penentuan Posisi*. **Berita Dirgantara**, Vol. 11, 2 : 59-65.
- El Rabbany, A. 2002. *Introduction to GPS_ The Global Positioning System*. Newwood : Artech House.
- Farah, A. 2016. *Accuracy evaluation for online Precise point positioning Service*. **Journal Geomatics**, 10 (1), 12-18.
- Ghilani, C.D. 2010. *Adjustment Computations Spatial Data Analysis 5nd Edition*. New Jersey : John Wiley & Sons Inc.
- Gao, Y. and Shen X. 2002. *A New Method for Carrier Phase Based Precise point positioning*. **Journal of the Institute of Navigation**, Vol. 49, 2.
- Gao, Y. and Shen X. 2004. *Performance of Analysis of Precise point positioning Using Real Time Orbit and Clock Products*. **Journal of Global Positioning Systems**, Vol. 3, 1-2 : 95-100.
- Harvey, R. and Bruce. 1990. *Practical Least Square and Statistics for Surveyors*. School of Surveying University of New South Wales.
- IGS. 2005. *Website of the International of GNSS Service (formerly International GPS Service)*. <http://igsb.jpl.nasa.gov/>. Diakses pada Kamis, 1 November 2018.
- IGS. 1998. *IGS Directory*. IGS Central Bureau.
- Kasfari, Roy, Yuwono, Darmo. dan Awaluddin, Moehammad. 2002. *Pengamatan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2017*. **Jurnal Geodesi UNDIP**, Vol. 7, 1.
- Kleusberg, A. and P. Teunissen. 1996. *GPS for Geodesy*. New York : International School Delft.
- Klobuchar, J.A. 1991. *Ionospheric Effects on GPS*. **Jurnal GPS World 2** : 48-51.
- Kouba J and Heroux P. 2001. *GPS Precise point positioning Using IGS Orbit Products, Navigation, GPS Solution*, Vol. 5, No. 2, pp. 12-28.
- Leandro R. dkk. 2011. *RTX Positioning: The Next Generation of cm- accurate Real-Time GNSS Positioning*. **Proc. of the Int. Tech. Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation**.
- Michael, Edward and Gordon Gracie. 1981. *Analysis Adjustment of Survey Measurement*. New York : Van Nostrand Reinhold Company.
- Ocalan, T., Erdogan, B and Tunalioglu, N. (2013). *Analysis of web-based online services for GPS relative and*

precise point positioning techniques. **Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba**, vol. 19, no 2, p.191-207, abr-jun, 2013.

- Panuntun, H. 2012. *Penentuan Posisi Anjungan Minyak Lepas Pantai dengan Titik Ikat GPS Regional dan Global*. Universitas Gadjah Mada.
- Persada, Mitra Eralika. 2018. *Presisi dan Akurasi*. URL : <http://www.eralika.com/article/presisi-dan-akurasi/>. Diakses pada Senin, 22 November 2018.
- Potret Udara. 2018. *Low-Cost-GPS-GIS*. <https://www.potretudara.com/low-cost-gps-gis/>. Diakses pada Selasa 5 November 2018.
- Prakoso, Sutopo Yuda. 2016. *Pengaruh Aktivitas Ionosfer Terhadap Tingkat Ketelitian GPS Dengan Metode Precise point positioning*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Gadjah Mada.
- Putra, Adi. 2012. *Studi Kinerja Software PPP On-line (Precise point positioning) dalam Pengolahan Data Survey GPS*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung.
- Sugiyono. 2010. *Statistik untuk Penelitian Cetakan ke-17*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Sunantyo, T. A. 2000. *Diktat Pengantar Survey Pengamatan Satelit Global Positioning System*. Jurusan teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Sunantyo, T. A. 2003. *Survei Pengamatan Satelit GPS*. Diktat Mata Kuliah. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Sunantyo, T. A. 2003. *Survei Pengamatan Satelit GPS*. Diktat Mata Kuliah. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Takasu, Tomoji. 2005. *Evaluation of GPS Precise point positioning (PPP) Accuracy*. **IEIC Technical Report**, Vol 105 : 31-35.
- Tsanindita, Yoga. 2011. *Keakuratan dan Kepresisian Metode Precise point positioning On-Line dengan Menggunakan GPS Navigasi Etrex Summit dan GPS Geodetik Javad Triumph 1*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Gadjah Mada.
- Tranquilla, J. M. Dkk. 1987. *Field Experiments in NAVTAR Signal Multipath, Imaging, and Phase Centre Errors*. Final Report. Department of Fisheries and Oceans.
- Wibowo, Yohanes Seto Ari. 2015. *Kajian Hasil Pengukuran Menggunakan GNSS CORS RTK NTRIP dengan Single Base dan Network Base*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang.
- Witchayangkoon, Boonsap. 2000. *Elemen of GPS Precise point positioning*. Thesis. University of Maine.
- Wolf, Paul R and Charles D. Ghilani. 2006. *Adjustment Computations, Spatial Data Analysis*. A Wiley – Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc.